

*ExFoS - Expert Forensic Science**XXII. mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství**Brno 2013***VADY DŘEVA JAKO PRIMÁRNÍ PŘÍČINY HAVÁRIE****WOOD DEFECTS AS THE PRIMARY CAUSES OF THE ACCIDENT****Miloš Lavický⁹¹****ABSTRAKT:**

Článek popisuje dva konkrétní případy havárií, u nichž se při analýze prováděné v rámci znaleckého posudku ukázalo, že pravděpodobnými primárními příčinami zřícení konstrukce jsou vady dřeva. Prvním případem je zřícení dřevěné pracovní plošiny sloužící jako lešení při výstavbě zděné výtahové šachty. Druhým případem je selhání konstrukce montážního podepření spřažené stropní konstrukce z keramicko-betonových nosníků s prostorovou výztuží a cihelných stropních vložek MIAKO.

ABSTRACT:

This paper describes two specific cases of accidents for which the analysis, carried out in the expert opinion, showed that wood defects are the probable primary causes of structural collapses. The first case is a collapsing wooden work platform used as a scaffold for the construction of a masonry elevator shaft. The second case is a failure of the mounting support structure of the composite ceiling structure of the ceramic-concrete beams with spatial reinforcement and MIAKO ceramic blocks.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Havárie, znalecký posudek, primární příčina, zřícení konstrukce, vada dřeva.

KEYWORDS:

Accidents, expert opinion, primary cause, structural collapse, defect wood.

1 ÚVOD

Pevnost dřeva nelze ovlivnit technologií výroby jako například u betonu, cihel nebo oceli ale pouze tříděním do jednotlivých jakostních tříd a případným vyloučením pro použití pro nosné konstrukce. Na velkou důležitost správného třídění řeziva ukazují v následujícím textu uvedené dva případy znaleckých posudků ve věci havárií dřevěných konstrukcí, u nichž bylo zjištěno, že primárními příčinami zřícení konstrukcí byly vady dřeva.

2 PRVNÍ PŘÍPAD

Jako první konkrétní případ se uvádí zřícení dřevěné pracovní plošiny, ke kterému došlo 25.5.2005 v areálu MESIT v Uherském Hradišti. Přitom byli zraněni 4 pracovníci, kteří se na pracovní plošině v okamžiku její havárie nacházeli, přičemž jeden z nich na následky svého zranění ještě v ten den v nemocnici zemřel.

⁹¹⁾ Lavický Miloš, Ing., Ph.D., VUT v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 602 00 Brno, +420 541 147 406, lavicky.m@fce.vutbr.cz

2.1 Genius loci

Při vyslovení slov havárie a MESIT Uherské Hradiště mnohým vytane vzpomínka na velké neštěstí, ke kterému zde došlo v pátek 23.11.1984, kdy se při provádění lehké nástavby zřítila část výrobní haly z roku 1952. Havárie byla zapříčiněna ztrátou únosnosti železobetonové nosné konstrukce haly způsobenou konverzí hlinitanového betonu, použitého při výstavbě. V důsledku havárie zahynulo 18 osob a bylo zraněno 43 osob. K obětem nutno připočíst mladého projektanta statiky nástavby, který podlehl nedůvodným výčitkám okolí a rozhodl se pro dobrovolný odchod ze života. Po zjištění příčin havárie byla v červnu 1985 zahájena rozsáhlá celostátní akce na prověření všech staveb vybudovaných v letech 1930 až 1960, zda při jejich výstavbě nebyl použit hlinitanový cement. Tato havárie sice vůbec nesouvisela s uváděným případem zřícení pracovní plošiny, ale truchlivá vzpomínka na tyto nešťastné události, vzbuzovala obzvlášť velký pocit zodpovědnosti při hledání příčin havárie, aby znovu nebyl ostrakizován nevinný.

2.2 Popis situace

Při výstavbě výtahové šachty, přistavované ke stávající budově (Obr. 1, vlevo), byly jako lešení šachty sestaveny v pěti výškových úrovních dřevěné pracovní plošiny, které sestávaly z dřevěných hranolů a fošen tl 50 mm. Vzdálenost výškových úrovní byla 2,25 m s výjimkou vzdálenosti mezi 3. a 4. úrovní, kde vzhledem k poloze železobetonového ztužujícího věnce musela být vzdálenost zvětšena na 2,75 m.



*Obr. 1 – Pohled na rozestavěnou výtahovou šachtu (vlevo),
pohled do výtahové šachty zespodu (vpravo)
Fig. 1 – View of unfinished elevator shaft (left),
view into the elevator shaft from the bottom (right)*

Objekt výtahové šachty byl navržen jako zděný s výškou horní zděné stavby 17,825 m a dojezdovou železobetonovou jámkou výšky 1,865 m. Pro výstavbu dodavatel použil cihelné bloky KERATHERM 25 CD o rozměrech 250/375/238 mm. Měřením byly zjištěny vnitřní rozměry šachty 2,68/3,28 m.

V úrovních 1. až 3. byly pro vybudování konstrukce použity tři hranoly, zatímco v úrovních 4. a 5. pouze dva hranoly. Většina hranolů byla nových o rozměrech 100/100 mm, avšak byly zjištěny i hranoly zjevně již dříve použité. Mezi zajištěnými prvky lešení se vyskytovaly staré hranoly 100/130, u kterých však nebylo zřejmé, zda byly použity jako nosné trámy pracovních podlah lešení. Hranoly byly osazeny podélně s obvodovou stěnou budovy ve směru kratšího rozpětí půdorysu výtahové šachty na světlé rozpětí 2,68 m. Délka hranolů byla 3 m a jejich uložení bylo cca 0,16 m. Na dřevěné hranoly, které tvořily primárně nosné prvky, byly volně položeny fošny tl. 50 mm, délky 3,04 m, mající šířku 220 až 430 mm.

Havárie nastala zřícením pracovní plošiny na 5. úrovni ve výšce cca 14 m nad povrchem dojezdové jámky.

2.3 Vypracování znaleckého posudku

Znalecký posudek byl vypracován na základě opatření Policie České republiky v trestní věci smrtelného zranění osoby, kterým se požadovalo zodpovězení otázek, zda byla konstrukce pracovní plošiny postavena v souladu s normami a co bylo příčinou pádu lešení.

Místní šetření v rámci znaleckého posudku se konalo pět dní po tragické události 30. 6. 2005. Zřícená konstrukce pracovní plošiny nebyla v původním stavu po havárii, neboť vzhledem k nutnosti vyprostit zraněné osoby nebylo možno ponechat zřícené prvky konstrukce na původním místě. Dřevěné trámy a fošny, které byly součástí pracovní plošiny, byly uloženy v areálu Policie České republiky. Dřevěné trámy, které se při havárii nezřítily, bylo možné prohlédnout na původních místech (Obr. 1, vpravo)

Pro plnění znaleckého úkolu zpracovatel posudku zjišťoval, zda a do jaké míry provedená konstrukce lešení byla v souladu s požadavky, které byly na tyto konstrukce kladeny platnými normovými předpisy v soustavě českých norem ČSN a českých norem, vycházejících z Eurokódů, začleněných do soustavy českých norem jako normy ČSN EN, event. jako předběžné normy ČSN P ENV.

Při stanovení příčin havárie zpracovatel posudku vycházel ze statické analýzy, přičemž bylo nutné nejdříve zpracovat informace a údaje zjištěné při místním šetření a z výpovědí svědků. Na základě těchto informací a údajů byly stanoveny vstupní údaje pro statické výpočty.

Pro stanovení mechanickofyzikálních vlastností bylo potřebné zařadit použité řezivo (např. Obr 2) do třídy pevnosti dřeva. Při tom byla použita norma ČSN 73 2824-1 (idt DIN 4074-1:2003) *Třídění dřeva podle pevnosti - Část 1: Jehličnaté řezivo* [4], podle které s ohledem na třídící znaky (suky, odklon vláken, dřev, šířku letokruhů, výsušné trhliny, oblíny, zakřivení, zbarvení a hnilobu, poškození hmyzem) vyplývalo, že hranoly použité jako trámy pracovní plošiny bylo možno podle vizuálně zjistitelných znaků zařadit do jakostní třídy S10, které podle tehdy platných norem pro navrhování dřevěných konstrukcí ČSN 73 1701 *Navrhovanie drevených stavebných konštrukcií* [2] a ČSN P ENV 1995-1-1 (73 1701) *Navrhování dřevěných konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby* [3] odpovídala třída pevnosti SI. Jako rozhodující kritérium ve zkoumaném případě bylo možno označit suky v hranolech, jejichž největší poměrný rozměr A podle čl. 5.1.2.2. ČSN 73 2824-1 (idt DIN 4074-1:2003) *Třídění dřeva podle pevnosti - Část 1: Jehličnaté řezivo* [4] byl v

intervalu od 1/5 do 2/5, a zejména u starších hranolů výsušné trhliny, jejichž poměrná hloubka byla $R < 1/2$.



Obr. 2 – Na trámu jsou zřetelné výsušné trhliny a v místě zlomení trámu je u skvrny od krve patrný suk

Fig. 2 – There are visible checks on the beam and there is a visible knot in place of the break of the beam next to the blood stain

Pro statický rozbor konstrukce dřevěné pracovní plošiny bylo určeno zatížení, které přibližně odpovídalo skutečnému zatížení v okamžiku havárie lešení zatížení. Při stanovení velikosti tohoto zatížení, bylo uvažováno, že na pracovní podlaze stáli 4 pracovníci, nacházel se zde maltovník s maltou, prázdné kolečko a 15 kusů cihelných bloků KERATHERM 25 CD. Zatížení pracovníky a maltovníkem s maltou bylo stanoveno pomocí hodnot uvedených v ČSN 73 8101 *Lešení. Společná ustanovení* [5]. Při určení zatížení cihelnými bloky se vycházelo z hmotnosti cihelného bloku, stanovené výrobcem. Uvedený počet 15 cihelných bloků bylo možno brát jako mezní, neboť na otázku, kolik materiálu se nacházelo na pracovní podlaze v okamžiku havárie lešení, svědci vypovídali různě, avšak počet 15 byl uváděn jako nejvyšší.

I když dřevěná konstrukce pracovní plošiny byla v nechráněné expozici a tuto okolnost vyjadřoval v ČSN 73 1701 *Navrhovanie drevených stavebných konštrukcií* [2] součinitel vlhkosti, v předmětném případě se jevilo vzhledem ke krátkému působení dřevěné konstrukce pracovní podlahy jako výstižnější tento vliv neuvažovat. Při výpočtu podle ČSN P ENV 1995-1-1 (73 1701) *Navrhování dřevěných konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby* [3] byl modifikační součinitel, který se stanovoval v závislosti na třídě

vlhkosti a trvání zatížení, uvažován, neboť krátkodobé působení dřevěné konstrukce pracovní podlahy bylo při jeho stanovování zohledněno.

Z výsledků statických výpočtů vyplývalo, že nosné dřevěné trámy pracovní plošiny na 5. úrovni na zatížení, které v okamžiku havárie na pracovní podlaze působilo, za předpokladu, že řezivo je pevnostní třídy SI, vyhověly. Pokud by bylo uvažováno použití řeziva pevnostní třídy dřeva SII nosné trámy plošiny by nevyhověly podle ČSN o 34 % a podle ČSN P ENV o 38 %.

Závěrem znaleckého posudku bylo uvedeno, že primární příčinou zřícení lešení bylo zlomení nosného trámu pracovní plošiny, který byl umístěn blíže ke stávající budově, v páté, nejvyšší úrovni, v důsledku čehož se tato pracovní plošina zřítila na nižší, která neunesla toto zatížení, jehož hodnota byla zvětšena o dynamickou složku, a nastalo tak řetězové zřícení všech pracovních plošin. Zlomení nosného trámu bylo zaviněno jeho neočekávaně nízkou únosností, která byla způsobena skrytou vadou dřeva, přičemž na rozvoj poškození mohlo mít nepříznivý zřejmě postřehnutelné poškození trámu od rázu při pádu z velké výšky, ke kterému mohlo dojít při jeho vyjímání z nižších pracovních plošin pro jeho, ve spisu zmíněné, opětovné použití.

3 DRUHÝ PŘÍPAD

Druhý případ se týká havárie podpěrné konstrukce tvořící montážní podepření spřažené stropní konstrukce systému POROTHERM z keramicko-betonových nosníků s prostorovou výztuží a cihelných tvarovek MIAKO PTH, ke které došlo 15.7.2011 v Uherském Hradišti – Jarošově. Část keramicko-betonové konstrukce se zřítila a při tom byli zraněni 2 pracovníci, kteří v okamžiku havárie prováděli její betonáž.

3.1 Popis situace

Havárie nastala při betonování stropní konstrukce nad 2. NP v prostoru schodiště (Obr. 3, 4). Podpěrná konstrukce sestávala ze dvou výškových částí. První, spodní část byla provedena na výšku 1. NP (3,9 m). Tvořily ji vodorovné dřevěné hranoly 140/140 mm uložené na jedné straně do kapes v cihelném zdivu a na druhé straně na předem zhotovený strop nad 1. NP, které byly podepřené ocelovými stojkami PERI a stojkami z dřevěných hranolů 120/120 mm. Na této spodní části podpěrné konstrukce byla provedena druhá, horní část, která sestávala z podpor dl. 2,5 m tvořených ocelovými stojkami PERI a ATLAS a dřevěných hranolů, na kterých spočívaly stropní keramicko-betonové nosníky systému Porotherm s prostorovou výztuží, na jejichž spodní keramicko-betonové příruby byly osazeny cihelné tvarovky MIAKO PTH 19/50. Betonová vrstva nad cihelnými tvarovkami měla být tl. 60 mm. Pro zabetonování stropu bylo použito čerpadlo betonové směsi Schwing.

3.2 Vypracování znaleckého posudku

Znalecký posudek byl vypracován na základě opatření Policie České republiky v trestní věci těžkého ublížení na zdraví. Znaleckým úkolem byly požadovány odpovědi na to, zda byla konstrukce stavěna v souladu s normami, zda byla konstrukce ze statického hlediska dostatečná, zda nemohlo dojít při dodávce materiálu na jedno místo k jejímu přetížení, co bylo příčinou havárie pádu a jaký vliv mohlo mít na pád konstrukce prasknutí jednoho podkladového hranolu pod spodní stojkou.



Obr. 3 – Zřícená stropní konstrukce, pohled ze spodu
Fig. 3 – Collapsed ceiling structure, view from the bottom



Obr. 4 – Zřícená stropní konstrukce, pohled v úrovni 1.NP
Fig. 4 – Collapsed ceiling structure, view at the ground floor level

Vzhledem k časovému odstupu mezi zřícením podpěrné konstrukce a podpíraného betonovaného stropu nebylo možno prohlédnout zřícenou konstrukci v původním stavu po havárii a bylo nutno při vypracování znaleckého posudku vycházet z předaných listinných podkladů a fotodokumentace.

Z uvedených podkladů bylo zjištěno, že uplatněná koncepce podpěrné konstrukce lešení nebyla v rozporu s ustanoveními platných norem ani v rozporu s obecnými technickými podmínkami ani jinými předpisy stavební legislativy.

Mezi podklady sice bylo vyjádření, které uvádělo, že řezivo dodané na stavbu podle dodacích listů bylo tř. I-II a že podle normy ČSN 49 1531-1 nebylo vhodné pro použití jako nosné konstrukční řezivo. K tomuto však bylo nutno ve znaleckém posudku vznést námitku, že norma ČSN 49 1531-1 nebyla v době provádění platná. Byla od 1. 10. 2004 nahrazena ČSN 73 2824-1 (idt DIN 4074-1:2003) *Třídění dřeva podle pevnosti - Část 1: Jehličnaté řezivo* [4], která platila do 1. 10. 2011. Podle tehdy platné normy ČSN EN 12811-2 (73 8123) *Dočasné stavební konstrukce – Část 2: Informace o materiálech* [7] čl. 7.2.1 se muselo použít jehličnaté dřevo nejméně třídy pevnosti C16 podle ČSN EN 338 (73 1711) *Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti* [9], [10]. Protože charakteristiky třídy pevnosti C16 korespondují s charakteristikami S7 (SII), nelze použití řeziva SII pokládat za pochybení.

Ve znaleckém posudku bylo konstatováno, že za předpokladu, že podpěrná konstrukce byla provedena tak, jak je uvedeno v předaných podkladech, lze ji označit ze statického hlediska dostatečnou pro požadovaný účel.

K otázce na místní přetížení čerstvým betonem bylo zodpovězeno, že k němu může dojít a že tato okolnost se podle čl. 8.2.3.1 ČSN EN 12812 (73 8108) *Podpěrná lešení – požadavky na provedení a obecný návrh* [11] zohledňuje uvažováním přídavného nahodilého zatížení doplňující nahodilé zatížení min. $0,75 \text{ kN/m}^2$ o 10 % vlastní hmotnosti betonu, nejméně však $0,75 \text{ kN/m}^2$, což v tomto případě byla rozhodující hodnota. Do kontrolního přepočtu dřevěné stojky, prováděného v rámci znaleckého posudku bylo toto zatížení zavedeno a stojka vyhověla s rezervou. Přitom lze předpokládat, že hodnoty přetížení čerstvým betonem, která vyplývá z uvedeného článku normy, nebylo dosaženo, protože čerpatelné betonové směsi používané pro betonáž keramicko-betonových stropů mají velmi měkkou konzistenci S3 a nehrozí vzhledem k jejich rozlivu k nebezpečnému nadměrnému nahromadění čerstvého betonu.

V rámci analýzy příčin byly uvažovány různé možné příčiny havárie jako je nedostatečné zavětrování podpěrné konstrukce, nedostatečné zajištění hranolů v úrovni stropu nad 1. NP proti vodorovnému posunutí v uložení, nedostatečné zajištění stojek proti uvolnění při rázů vyvozeným vypouštěním čerstvého betonu na prefabrikovanou část keramicko-betonové konstrukce, nedostatečná únosnost vodorovných trámů, nedostatečná únosnost stojek nebo selhání podkladního prvku.

Žádné zjištění z předaných dokladů neukazovalo přímo ani implicitně, že by havárii nastala z příčin nedostatečné prostorové tuhosti podpěrné konstrukce. Z dodatečného statického výpočtu podpěrné konstrukce předloženého dodavatelem stavby vyplývalo, že dimenze vodorovných prvků byly dostatečné. Ani při kontrole v rámci znaleckého posudku nebyly nalezeny nedostatky, které by svědčily o opaku. V souvislosti s rozbořem možné příčiny havárie, způsobené nedostatečnou únosností stojek bylo ověřováno, zda ocelové stojky PERI a ATLAS vykazují dostatečné únosnosti. Z podkladů pro ocelové stojky PERI a ATLAS bylo zjištěno, že únosnost obou typů ocelových stojek byla pro dané použití dostatečná. K tomu bylo nutno rovněž poznamenat, že na snímcích fotodokumentace pořízené Policií České republiky nebylo patrné poškození některé z ocelových stojek, které by svědčilo o překročení její nosnosti a jejímu následnému selhání. Bylo dále ověřováno, zda příčinou havárie nebylo selhání dřevěné stojky spodní části podpěrné konstrukce stropu z hranolu 120/120 mm, která

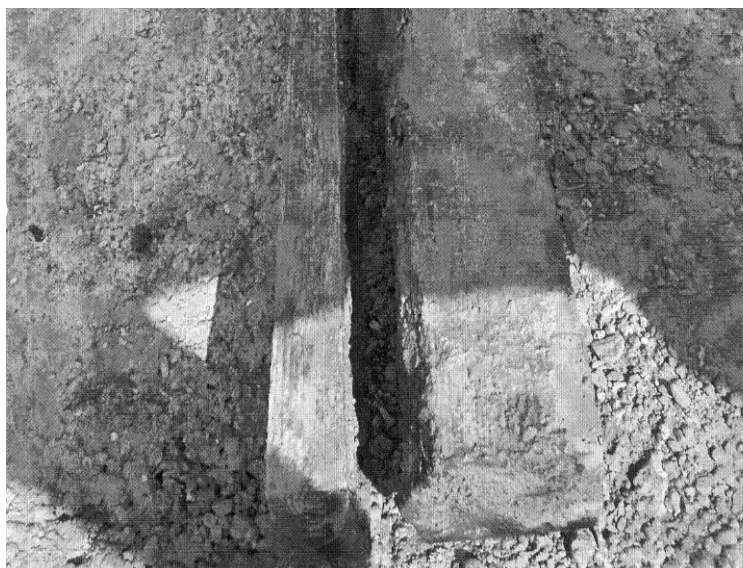
vzhledem k výšce 3,9 m vykazuje poměrně značnou štíhlost. Proto byl proveden kontrolní přepočet, který prokázal, že tato dřevěná stojka vyhověla.

Jako spouštěcí mechanismus havárie se potvrdilo rozštípnutí podkladového hranolu pod stojkami. Posouzení toho hranolu na tlak kolmo na vlákna sice s rezervou vyhovělo, avšak na předložených fotografiích bylo patrné porušení způsobené výskytem odlupčivé trhliny (Obr. 5, 6)

Na základě výsledků konstrukčního rozboru bylo možno konstatovat, že podpěrná konstrukce podle předaných listinných materiálů a fotografií nebyla zhotovena v rozporu s platnými normami a pravděpodobnou primární příčinou havárie bylo rozštípnutí podkladního hranolu pod ocelovou stojkou PERI zaviněné jeho nízkých odporem proti porušení příčným tahem v uložení stojky způsobeným odlupčivou trhlinou.



Obr. 5 – Podkladní hranol s odlupčivou trhlinou
Fig. 5 – Sill with ring shake



Obr. 6 – Podkladní hranol rozštípnutý na dvě části
Fig. 6 – Sill split up in two parts

4 ZÁVĚR

Dřevo je výborný a spolehlivý stavební materiál, vykazuje však svá specifika, které je nutno při jeho uplatnění mít na zřeteli. Nevytřídění řeziva s vadami a jeho uplatnění jako konstrukčního dřeva, může mít fatální následky bez rozdílu, zda se jedná o trvalé nosné konstrukce či nikoliv. Jak ukazují uvedené dva příklady, i u dočasných dřevěných konstrukcí je nutné věnovat výběru řeziva pozornost, jednotlivé dřevěné konstrukční prvky před osazováním opětovně prohlédnout a v případě pochybností o jejich spolehlivosti je vyřadit.

5 LITERATURA

- [3] POŽDAJ Alexander, CHOVANEC Dušan, KURJATKO Stanislav, BABIAK Marián: Štruktúra a vlastnosti dreva. PRÍRODA, a.s., Bratislava, druhé vydání, 1997 Bratislava, 488 s. ISBN 80-07-00960-4.
- [4] ČSN 73 1701 Navrhovanie drevených stavebných konštrukcií. Úrad pro normalizaci a měření, Praha, 1983, 92 s.
- [5] ČSN P ENV 1995-1-1 (73 1701) Navrhování dřevěných konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Český normalizační institut, Praha, 1996, 120 s.
- [6] ČSN 73 2824-1 (idt DIN 4074-1:2003) Třídění dřeva podle pevnosti - Část 1: Jehličnaté řezivo. Český normalizační institut, Praha, 2004, 28 s.
- [7] ČSN 73 8101 Lešení. Společná ustanovení. Úrad pro normalizaci a měření, Praha, 1981, 44 s.
- [8] ČSN EN 12811-1 (73 8123) Dočasné stavební konstrukce – Část 1: Pracovní lešení - Požadavky na provedení a obecný návrh, Český normalizační institut, Praha, 2004, 44 s.
- [9] ČSN EN 12811-2 (73 8123) Dočasné stavební konstrukce – Část 2: Informace o materiálech, Český normalizační institut, Praha, 2004, 16 s.
- [10] ČSN EN 1995-1-1 (73 1701) Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Český normalizační institut, Praha, 2006, 114 s.
- [11] ČSN EN 338 (73 1711) Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti, Český normalizační institut, Praha, 2003, 12 s.
- [12] ČSN EN 338 (73 1711) Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti, Úrad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2010, 12 s.
- [13] ČSN EN 12812 (73 8108) Podpěrná lešení – požadavky na provedení a obecný návrh, Český normalizační institut, Praha, 2009, 16 s.

Podporováno z Evropského sociálního fondu a státního rozpočtu České republiky, projekt "Vytvoření mezinárodního vědeckovýzkumného týmu pro vývoj nových materiálů na bázi dřeva", reg. no. CZ.1.07/2.3.00/20.0269.